

# Određivanje otpora vjetrene pregrade u rudniku Tehničkog muzeja Nikola Tesla

---

Rafaj, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:989563>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij rudarstva

**ODREĐIVANJE OTPORA VJETRENE PREGRADE U RUDNIKU TEHNIČKOG  
MUZEJA NIKOLA TESLA**

Završni rad

Marko Rafaj

R4612

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/81  
URBROJ: 251-70-11-23-2  
U Zagrebu, 14.09.2023.

Marko Rafaj, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/81, URBROJ: 251-70-11-23-1 od 13.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### ODREĐIVANJE OTPORA VJETRENE PREGRADE U RUDNIKU TEHNIČKOG MUZEJA NIKOLA TESLA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Dr. sc. Vjekoslav Herceg.

Voditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr. sc. Vjekoslav Herceg

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

ODREĐIVANJE OTPORA VJETRENE PREGRADE U RUDNIKU TEHNIČKOG MUZEJA NIKOLA  
TESLA

Marko Rafaj

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu prikazano je određivanje otpora vjetrene pregrade u rudniku Tehničkog muzeja Nikola Tesla. U sklopu rada izmjeren je otpor pri šest različitih postavki otvora pregrade na vjetrenim vratima pri pet različitih brzina ventilatora. U rezultatima mjerenja vidljivo je da se postepenim zatvaranjem prigušnice povećava brzina strujanja zraka kroz samu prigušnicu dok se brzina strujanja u hodniku smanjuje. Na taj se način smanjenjem površine prigušnice postepeno povećava otpor strujanju zraka što uzrokuje postepeno povećanje pada tlaka na prigušnici.

Ključne riječi: rudarstvo, vjetrenje, prigušnica, vjetrena pregrada

Završni rad sadrži: 28 stranica, 8 tablica, 19 slika i 3 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Mario Klanfar, docent RGNF

Komentor: Dr. sc. Vjekoslav Herceg, viši asistent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Mario Klanfar, docent RGNF  
Dr. sc. Želimir Veinović, docent RGNF  
Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent RGNF

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PRIGUŠNICA.....	2
3. VJETRENA PREGRADA.....	4
4. OPIS I PRIKAZ MJERENJA.....	8
5. OPIS I PRIKAZ PRORAČUNA.....	16
6. PRIKAZ REZULTATA.....	18
7. ZAKLJUČAK.....	20
8. LITERATURA .....	21

## POPIS SLIKA

Slika 1-1. Tlocrt rudnika, Tehnički muzej Nikola Tesla .....	1
Slika 2-1. Prigušnica (Klanfar, 2018.) .....	2
Slika 2-2. Prigušnica (Andreić, 2018.) .....	3
Slika 2-3. Koeficijent dodatnog otpora prigušnice (Andreić, 2014.) .....	3
Slika 3-1. Trajna betonska pregrada (Klanfar, 2018.) .....	4
Slika 3-2. Privremena vjetrena pregrada na komprimirani zrak (Klanfar, 2018.) .....	5
Slika 3-3. Vrata s regulacijskim otvorom (Klanfar, 2018.) .....	6
Slika 3-4. Zračna komora (Hangzhou, 2021.) .....	6
Slika 4-1. Centrifugalni ventilator .....	9
Slika 4-2. Vjetreni hodnik .....	10
Slika 4-3. Vjetrena vrata s regulacijskim otvorom .....	10
Slika 4-4. Manometar s mjernim pretvornikom .....	11
Slika 4-5. Anemometar Testo 400 .....	12
Slika 4-6. Regulacijski otvor na vjetrenim vratima .....	12
Slika 4-7. Upravljačka ploča ventilatora .....	14
Slika 4-8. Grafički prikaz odnosa površine i protoka .....	15
Slika 4-9. Grafički prikaz odnosa tlaka i protoka .....	16
Slika 6-1. Grafički prikaz odnosa koeficijenta lokalnog otpora $\xi$ i površine otvora .....	19
Slika 6-2. Grafički prikaz odnosa otpora R i površine otvora A2 .....	19

## POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Tablica korištenih površina regulacijskog otvora .....	12
Tablica 4-2. Tablica s rednim brojem mjerenja i oznake na regulatoru brzine .....	12
Tablica 4-3. Tablica s izmjerenim vrijednostima .....	13
Tablica 5-1. Tablica izračunatih vrijednosti pri postavkama ventilatora na brzinu 2 .....	17
Tablica 5-2. Tablica izračunatih vrijednosti pri postavkama ventilatora na brzinu 4 .....	17
Tablica 5-3. Tablica izračunatih vrijednosti pri postavkama ventilatora na brzinu 6 .....	18
Tablica 5-4. Tablica izračunatih vrijednosti pri postavkama ventilatora na brzinu 8 .....	18
Tablica 5-5. Tablica izračunatih vrijednosti pri postavkama ventilatora na brzinu 10 .....	18

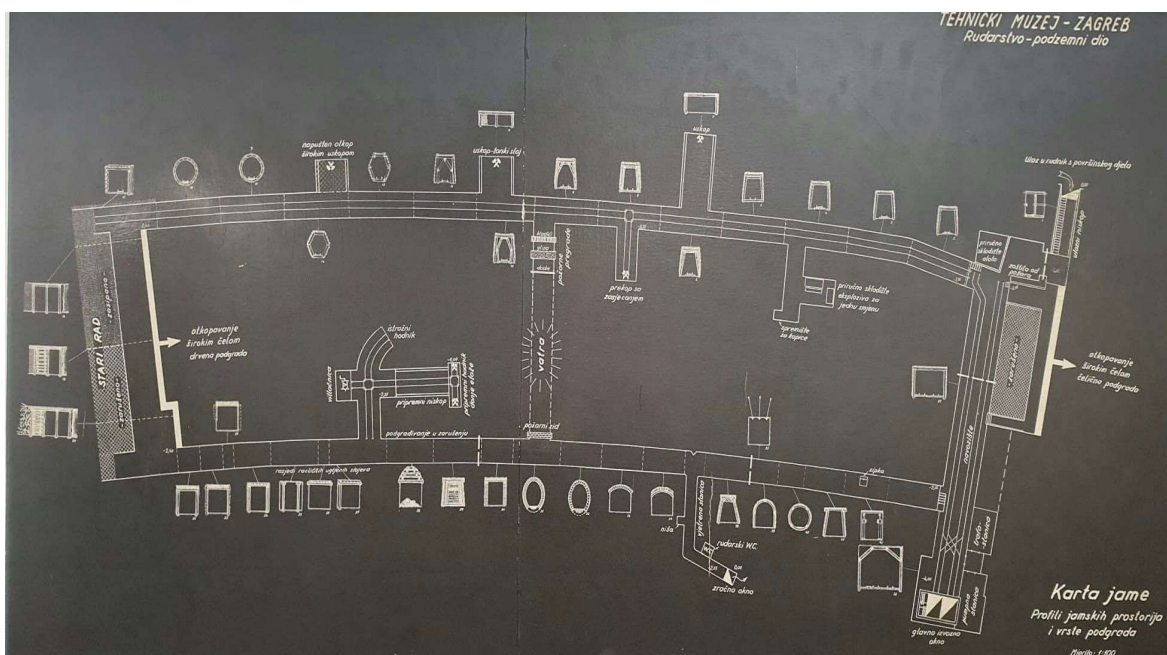
## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

OZNAKA	JEDINICA	OPIS
$R$	$\text{kg/m}^7$	otpor
$\xi$	-	koeficijent dodatnog otpora
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	gustoća zraka
$A$	$\text{m}^2$	površina presjeka
$Q$	$\text{m}^3/\text{s}$	protok
$V$	$\text{m/s}$	brzina strujanja
$H$	Pa	pad tlaka
$M$	-	omjer površina



## 1. UVOD

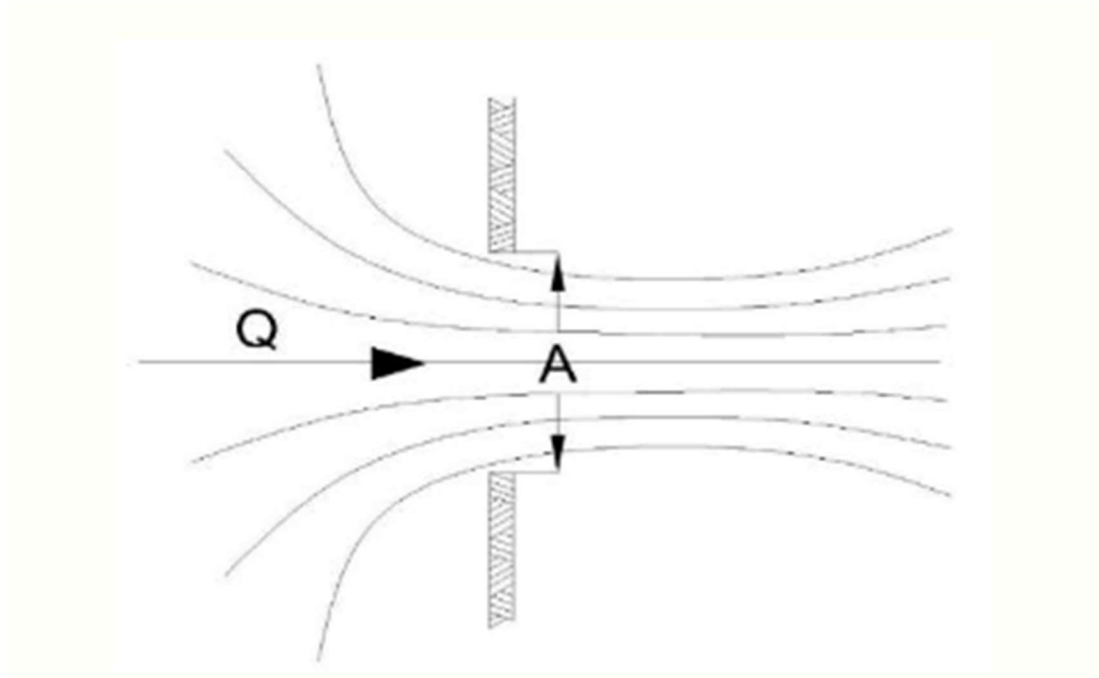
Za podzemne rudnike potrebno je osigurati dobavu svježeg zraka kako bi omogućili stvaranje jamske atmosfere pogodne za rad ljudi i strojeva. U ovom konkretnom slučaju rudnika (slika 1-1) u Tehničkom muzeju Nikola Tesla, objekt nema funkciju eksploatacije pa time eliminiamo tešku mehanizaciju koja troši kisik i zagađuje zrak pogonom te vršenjem određenog rada. Namjena ovog rudnika je za obilazak posjetitelja, turističko-edukativnog karaktera koji je u sklopu tehničkog muzeja te dopunjuje muzejsku zbirku. Ventilacija se ovdje primarno koristi za dovođenje svježeg zraka kako bi posjetitelji imali dovoljno kisika u uskim prostorima rudnika. Ventilacijom također postižemo optimalnu temperaturu i vlagu u svrhu produženja vijeka trajanja objekta. U podzemnim prostorijama smanjujemo mogućnost pojave plijesni, a samim time i propadanje drvnog materijala korištenog u rudniku za elemente kao što su podgrada i vjetrene pregrade. U ovom radu uspoređuju se otpori pri različitim površinama otvora prigušnice pri različitim postavkama ventilatora te kako one utječu na lokalni otpor. Prigušnica je u ovom slučaju regulacijski otvor na vjetrenim vratima, a služi za regulaciju brzine protoka zraka kroz hodnik rudnika.



Slika 1-1. Tlocrt rudnika, Tehnički muzej Nikola Tesla

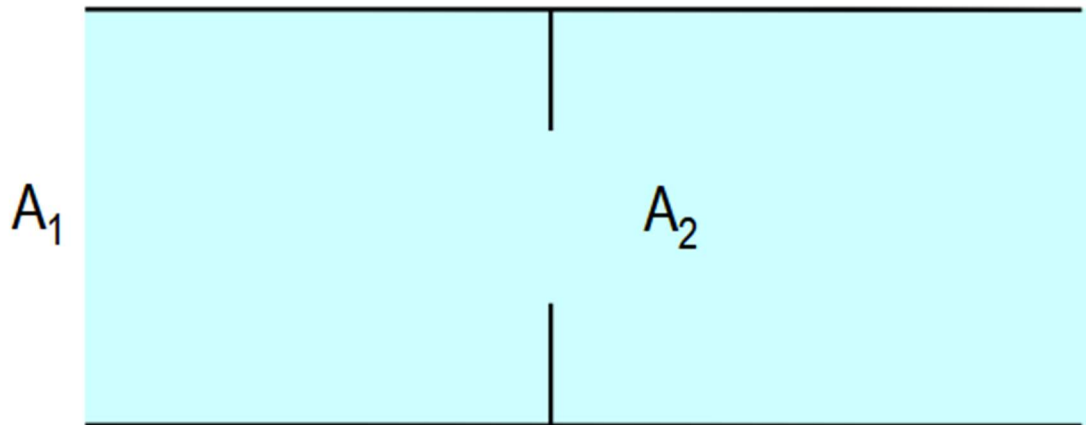
## 2. PRIGUŠNICA

U mehanici fluida prigušnicu (Slika 2-1) promatramo kao otvor, naglo smanjenje površine, kroz koji prolazi fluid. Možemo je koristiti u različite svrhe, kao što su regulacijski uređaji ili kao sredstvo za mjerenje protoka fluida. Da bi se dobili željeni rezultati otvor mora biti točno određene površine. U slučaju korištenja prigušnice kao regulacijskog uređaja pomoću iste kontroliramo željenu količinu fluida, povećavajući ili smanjujući površinu presjeka otvora. Povećanjem te površine količina protoka bit će veća dok će smanjenjem površine protok biti manji. (Andreić, 2014.)



**Slika 2-1.** Prigušnica (Klanfar, 2018.)

Smanjenjem površine presjeka prigušnice (Slika 2-2), s presjeka A1 kroz presjek A2 te ponovno vraćanje strujanja fluida na presjek A1 dolazi do povećanja gubitaka i pada količine protoka. (Andreić, 2014.)



**Slika 2-2.** Prigušnica (Andreić, 2014.)

$$m = \frac{A_1}{A_2} \quad (2-1)$$

Gdje su:  $A_1$  – površina presjeka hodnika ( $m^3$ )

$A_2$  – površina presjeka prigušnice ( $m^3$ )

Koeficijent dodatnog otpora  $\xi$  (Slika 2-3) povećava se smanjenjem površine presjeka.

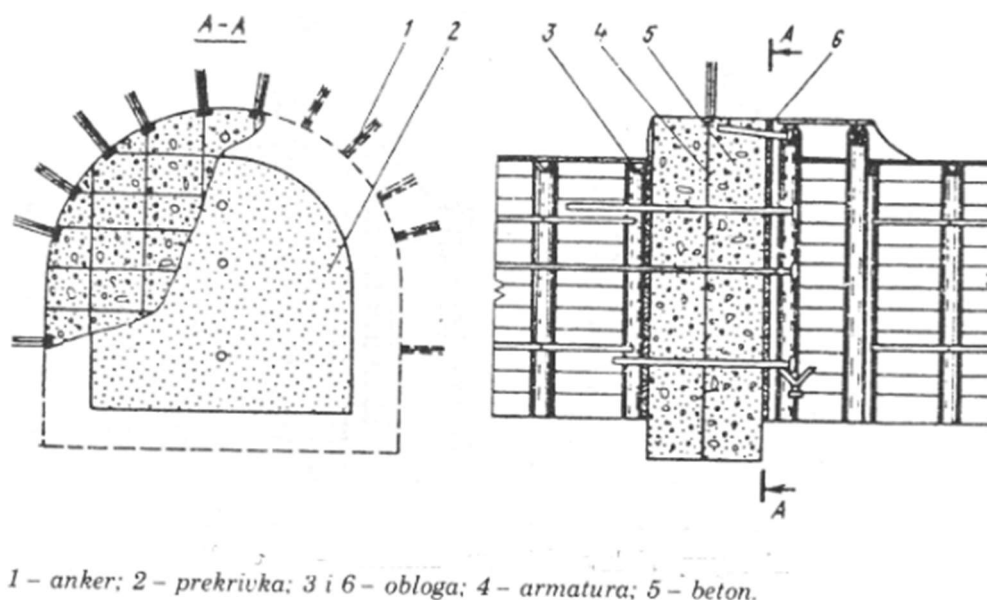
$m$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
$\zeta_1$	81	16	5,4	2,3	1,0	0,44	0,2

**Slika 2-3.** Koeficijent dodatnog otpora prigušnice (Andreić, 2014.)

Ako prigušnicu koristimo u svrhu mjerenja protoka potrebno je poznavati tlak prije i tlak poslije prigušnice. Prednost mjerne prigušnice je njena konstrukcijska jednostavnost i dostupnost.

### 3. VJETRENA PREGRADA

Vjetrene pregrade sastavni su dio vjetrenog sustava u rudarstvu koji se sastoji od vjetrenih provodnika, pogonskih elemenata i regulacijskih uređaja. Spadaju u grupu regulacijskih elemenata. To su elementi koji mogu imati više funkcija, kao što su potpuno sprječavanje ventilacije, smanjivanje protoka u određenim granama te povećanje u susjednim granama, razdvajanje ulazne i izlazne zračne struje te preusmjeravanje zraka. Možemo ih podijeliti prema trajnosti upotrebe, prema načinu rada, prema načinu upotrebe, prema načinu upravljanja te prema materijalu od kojeg su napravljene. Prema trajnosti upotrebe vjetrene pregrade dijelimo na trajne (Slika 3-1) i privremene (Slika 3-2). Trajne pregrade koriste se u slučajevima trajne izolacije napuštenih dijelova rudnika ili starim radovima zbog smanjenja prostora potrebnog za vjetrenje iz ekonomskih i tehničkih razloga. Koriste se i za one dijelove koji ugrožavaju rad ostatka rudnika kao što su područja u kojima dolazi do izdvajanja plinova iz ležišta pa dolazi do zagađenja jamske atmosfere, područja koja su zahvaćena požarom, područja u kojima dolazi do prodora vode i žitkih materijala. Ovaj tip pregrade može sadržavati otvore u sebi koji se po potrebi mogu otvarati i zatvarati u svrhu praćenja stanja iza tog elementa. Neki od glavnih parametara koji se obično prate su temperatura i koncentracija plinova. (Teply, 1990.)



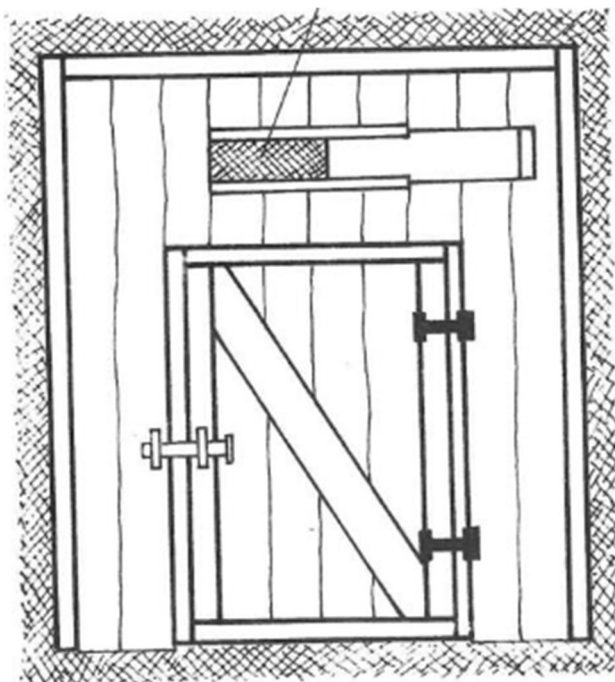
**Slika 3-1.** Trajna betonska pregrada (Klanfar, 2018.)

Privremene vjetrene pregrade (Slika 3-2) postavljaju se na mjesta gdje je u kratkom vremenskom roku potrebno privremeno izolirati dio rudnika radi povećanja ili potpunog zaustavljanja zračne struje zbog određenih kratkotrajnih radova ili kao prevenciju do izgradnje trajne pregrade za koju je potrebno puno više vremena.



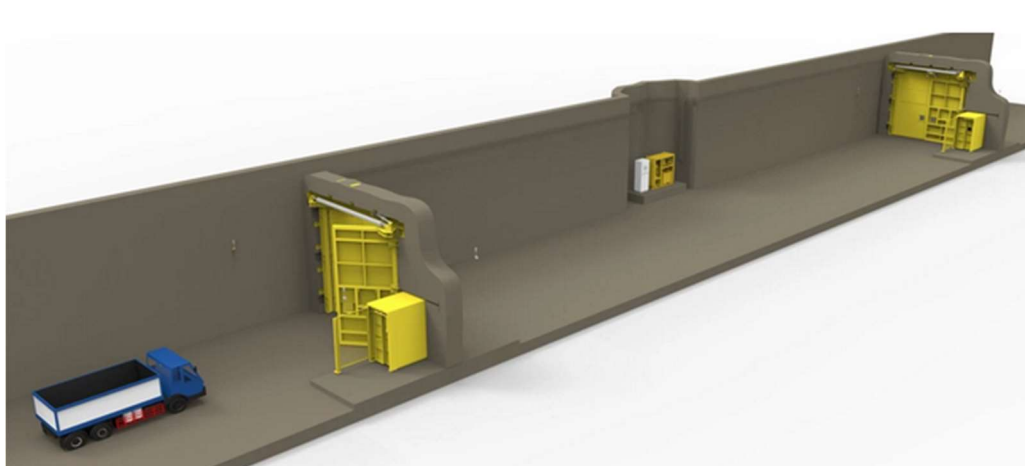
**Slika 3-2.** Privremena vjetrena pregrada na komprimirani zrak (Klanfar, 2018.)

Vjetrena vrata kao i vjetrena pregrada mogu sadržavati regulacijske otvore. Vjetrena vrata koriste se u svrhu zaustavljanja zračne struje na mjestima gdje je potreban prolaz za ljude, strojeve i materijale. Vjetrena vrata (Slika 3-3) imaju regulacijski otvor koji služi za kontinuirani protok zračne struje s kontroliranom količinom prolaska zraka. (Teply, 1990.)



**Slika 3-3.** Vrata s regulacijskim otvorom (Klanfar, 2018.)

Zračne komore (Slika 3-4) koriste kombinaciju dvoja ili više vrata u svrhu sprečavanja kratkih spojeva zračnih struja pri njihovom otvaranju ili zatvaranju tijekom korištenja.



**Slika 3-4.** Zračna komora (Hangzhou Candid I/E Co., Ltd, 2021.)

Upotreba materijala pri izradi vjetrenih pregrada je raznolika. To mogu biti PVC, tkanina, drvo, cigla, beton, ispuna od pijeska ili jalovine, čelik. Ovisi o tipu pregrade, načinu upravljanja, mjestu gdje će biti korištena, svrha, izloženosti naprezanjima te učestalosti i načinu upotrebe.

Načini upravljanja regulacijskim pregradama mogu biti ručni, mehanički ili automatizirani. Kod ručnog upravljanja radnik mora fizički obaviti podešavanje. Mehanički način pogonjen je sustavom za pokretanje, ali i dalje regulaciju obavlja osoba za to zadužena. Automatizirani sustav pogonjen je sustavom za pokretanje i autonomno regulira protok preko mjernih pretvornika po unaprijed zadanim vrijednostima. (Teply, 1990.)



#### 4. OPIS I PRIKAZ MJERENJA

Mjerenja za određivanje otpora vjetrene pregrade izvedena su u pokaznom rudniku Tehničkog muzeja Nikola Tesla. Sustav vjetrenja u rudniku sastoji se od centrifugalnog ventilatora (Slika 4-1), vjetrenih provodnika (Slika 4-2) i vjetrenih vrata s regulacijskim otvorom (Slika 4-3). Centrifugalni ventilator radi depresijskim načinom rada. Depresijski ili sisajući način rada opisuje smjer djelovanja ventilatora koji je u ovom slučaju u podtlaku. Podtlak u rudniku znači da ventilator usisava zrak kroz vjetrene provodnike i iznosi onečišćeni zrak izvan podzemnih prostorija dok istovremeno uvlači svježju zračnu struju tim istim načinom rada. Vjetreni provodnik je ovdje hodnik dok regulacijski uređaj čine vjetrena vrata s regulacijskim otvorom gdje je ispitivanje izvedeno. Svrha ispitivanja bila je mjerenje otpora na regulacijskom otvoru pri pet različitih postavki ventilatora na pet različitih postavki otvora te pozicija potpuno zatvorenog regulacijskog otvora na svakoj postavki regulatora.



**Slika 4-1.** Centrifugalni ventilator u muzeju



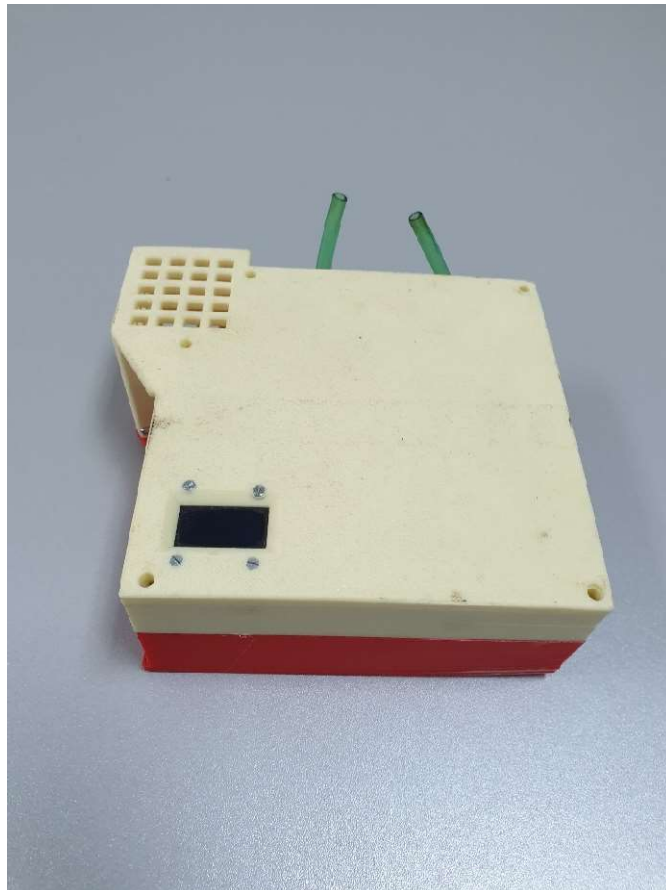


**Slika 4-2.** Vjetreni hodnik



**Slika 4-3.** Vjetrena vrata s regulacijskim otvorom

Tijekom svih mjerenja vjetrena vrata bila su zatvorena. Ispitivanje je obavljeno tako da su mjerene razlike tlakova prije regulacijskog otvora (Slika 4-6) i nakon te je mjeren protok zraka nakon regulacijskog elementa. Razlika tlaka mjerena je manometrom (Slika 4-4), uređajem konstruiranim na RGN fakultetu kojim je mjeran statički tlak.



**Slika 4-4.** Manometar s mjernim pretvornikom RGNf

Protok zraka i temperatura izmjereni su pomoću multifunkcijskog uređaja za mjerenje vjetrenih parametara Testo 400 (Slika 4-5) sa sondom za mjerenje brzine strujanja zraka. Izmjerena temperatura rudnika iznosila je 17,6 °C.



**Slika 4-5.** Multifunkcijski uređaj za mjerenje Testo 400 sa krilnom sondom



**Slika 4-6.** Regulacijski otvor na vjetrenim vratima

Na slici (Slika 4-6) vidljiv je vjetreni regulacijski otvor na kojem je izvedeno mjerenje te su vidljive oznake podjela pozicija. U prvoj poziciji regulator je u potpunosti otvoren dok je u šestoj potpuno zatvoren kao što je vidljivo u tablici pripadajućih površina otvora za svaku poziciju mjerenja (Tablica 4-1).

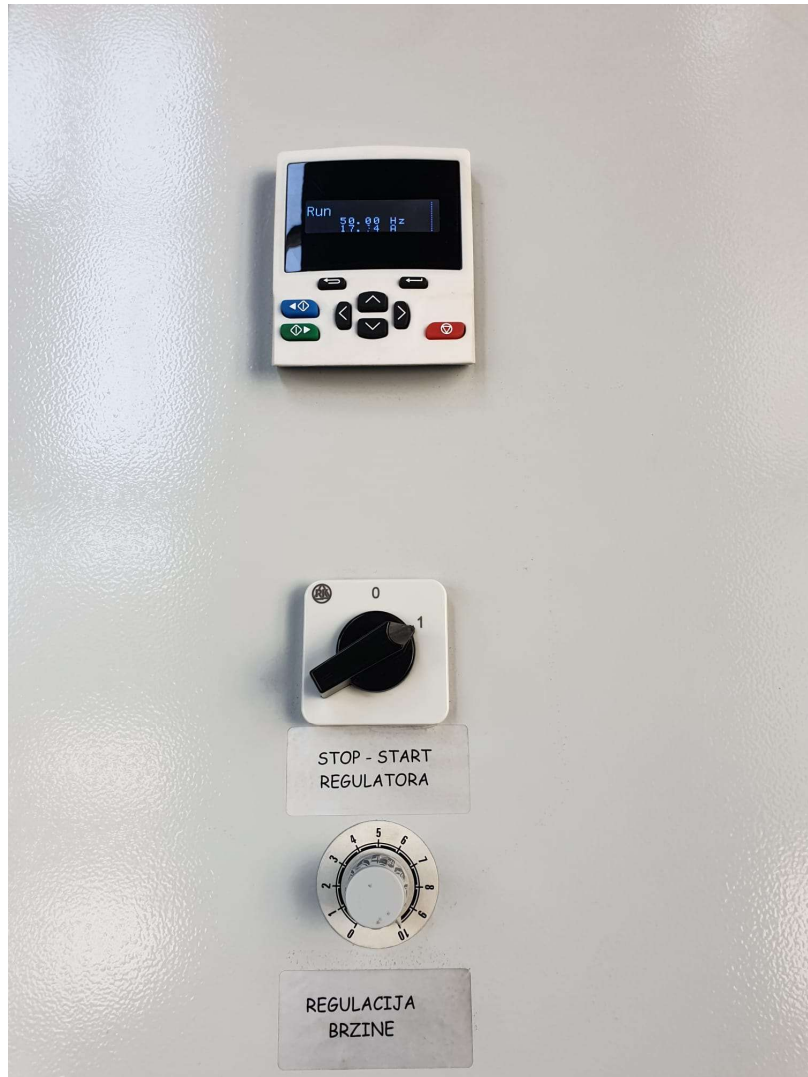
**Tablica 4-1.** Tablica pripadajućih površina otvora za svaku poziciju mjerenja

Mjerenje	Širina otvora (m)	Visina otvora (m)	Površina regulacijskog otvora (m <sup>2</sup> ) <i>A</i>
1.	0.36	0.19	0.0684
2.	0.288	0.19	0.05472
3.	0.219	0.19	0.04161
4.	0.15	0.19	0.0285
5.	0.081	0.19	0.01539
6.	ZATVORENO	ZATVORENO	0

Regulator brzine na upravljačkoj ploči ventilatora (Slika 4-7) ima skalu od nula do deset. Zbog jednostavnosti mjerenja napravljena je tablica (Tablica 4-2) s rednim brojevima mjerenja i oznakama na regulatoru brzine.

**Tablica 4-2.** Tablica s rednim brojevima mjerenja i oznakama na regulatoru brzine

Mjerenje	Regulator brzine
1.	2
2.	4
3.	6
4.	8
5.	10



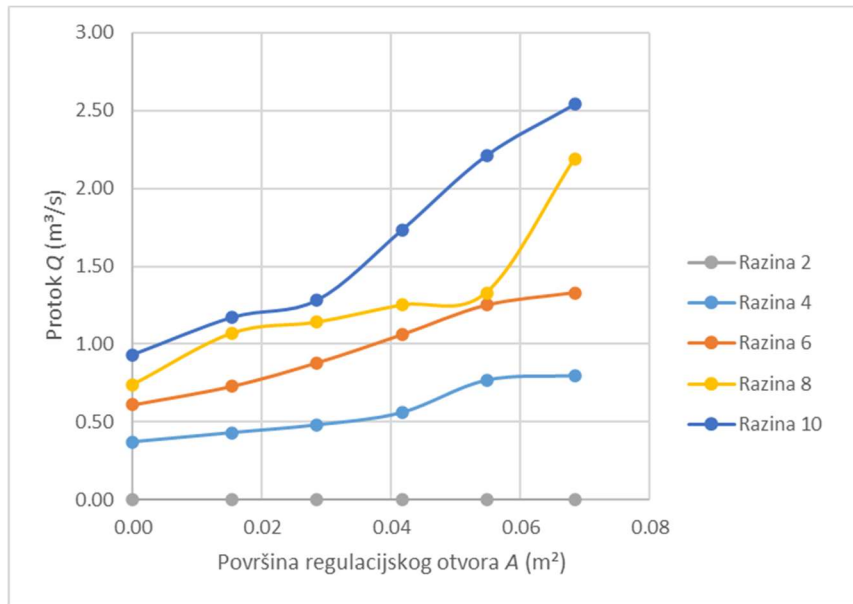
**Slika 4-7.** Upravljačka ploča ventilatora

Vrijednosti dobivene mjerenjem navedene su u tablici 4-3.

**Tablica 4-3.** Tablica s izmjerenim vrijednostima

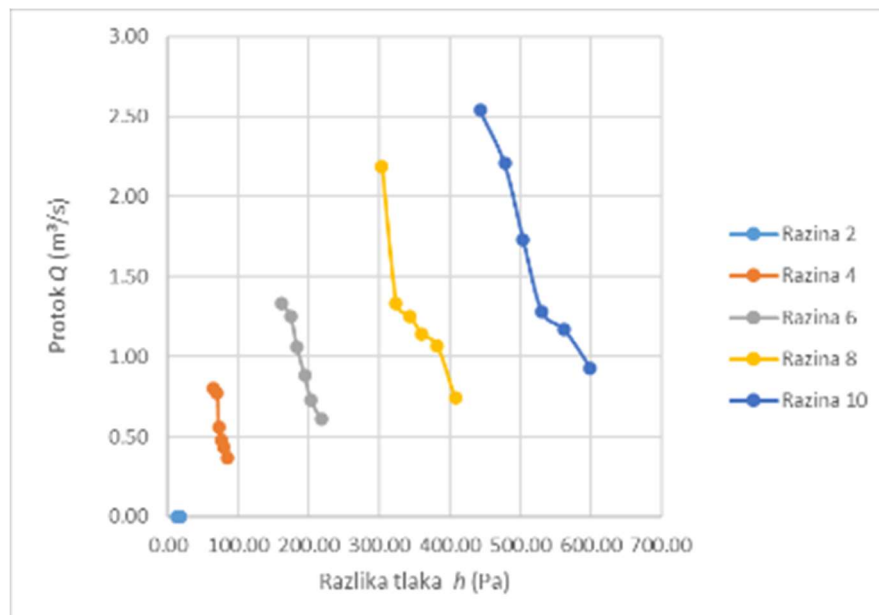
Položaj regulatora ventilatora	Mjerenje	Površina regulacijskog otvora $A$ (m <sup>2</sup> )	Razlika tlaka $h$ (Pa)	Protok $Q$ (m <sup>3</sup> /s)
Razina 2	1	0.07	13.7	-
	2	0.05	14.8	-
	3	0.04	16.4	-
	4	0.03	16.9	-
	5	0.02	17.6	-
	6	0	18.2	-
Razina 4	1	0.07	64.1	0.8
	2	0.05	70.5	0.77
	3	0.04	72.5	0.56
	4	0.03	76.3	0.48
	5	0.02	79.4	0.43
	6	0	84.2	0.37
Razina 6	1	0.07	161.7	1.33
	2	0.05	174.1	1.25
	3	0.04	183.2	1.06
	4	0.03	194.4	0.88
	5	0.02	203.5	0.73
	6	0	217.9	0.61
Razina 8	1	0.07	303.5	2.19
	2	0.05	324.1	1.33
	3	0.04	344.1	1.25
	4	0.03	360.8	1.14
	5	0.02	382.7	1.07
	6	0	408.4	0.74
Razina 10	1	0.07	443.4	2.54
	2	0.05	477.9	2.21
	3	0.04	504.6	1.73
	4	0.03	530.9	1.28
	5	0.02	562.3	1.17
	6	0	599.6	0.93

U nastavku možemo vidjeti grafički prikaz (Slika 4-8) odnosa protoka zraka i površine regulacijskog otvora. Iz grafičkog prikaza je vidljivo da otvaranjem regulacijskog otvora i povećanjem slobodne površine za protok zraka povećava se i količina protoka na svakoj podešenoj brzini ventilatora osim na razini 2. Pri podešenju ventilatora na razinu 2 protok je ispod mjernog područja uređaja.



**Slika 4-8.** Grafički prikaz odnosa površine i protoka

Na sljedećem grafičkom prikazu (Slika 4-9) prikazan je odnos razlike tlaka prije i poslije regulacijskog otvora te količine protoka zraka. Vidljivo je da povećanjem razlike tlaka opada količina protoka na svakoj zadanoj brzini ventilatora. Razlika tlaka je veća što je slobodna površina regulacijskog otvora manja. Zatvaranjem regulacijskog otvora smanjujemo protok zraka.



**Slika 4-9.** Grafički prikaz odnosa tlaka i protoka

## 5. OPIS I PRIKAZ PRORAČUNA

Iz podataka dobivenih mjerenjem izračunati su otpor, koeficijent lokalnog otpora, brzina strujanja zraka na zasunu i brzina strujanja zraka u hodniku.

Otpor  $R$  smo računali preko izmjerenih vrijednosti prikazanom formulom (5-1).

$$R = \frac{h}{Q^2} \quad (5-1)$$

Gdje su:  $R$  - otpor ( $\text{kg/m}^7$ )

$h$  – razlika tlaka (Pa)

$Q$  – protok zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Koeficijent lokalnog otpora  $\xi$  izračunat je pomoću formule (4-2).

$$h = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (5-2)$$

$$\xi = \frac{2h}{\rho v^2}$$

Gdje su:  $\xi$  – koeficijent lokalno otpora

$\rho$  – gustoća zraka ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  – brzina strujanja zraka u hodniku (m/s)

$h$  – razlika tlaka (Pa)

Brzina strujanja zraka  $v$  na regulacijskom otvoru dobivena je prema formuli (4-3).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5-3)$$

Gdje su:  $v$  – brzina strujanja zraka na regulacijskom otvoru (m/s)

$Q$  – protok zraka ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  – površina poprečnog presjeka regulacijskog otvora ( $\text{m}^2$ )



Brzina strujanja zraka  $v$  u hodniku dobivena je prema formuli (4-4).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5-4)$$

Gdje su:  $v$  – brzina strujanja zraka u hodniku (m/s)

$Q$  – protok zraka (m<sup>3</sup>/s)

$A$  – površina poprečnog presjeka hodnika (m<sup>2</sup>)

Površina poprečnog presjeka hodnika dobivena je prema formuli (4-5).

$$A = ab \quad (5-5)$$

Gdje su:  $A$  – površina poprečnog presjeka hodnika (m<sup>2</sup>)

$a$  – visina hodnika (m)

$b$  – širina hodnika (m)

Dimenzije korištenog hodnika su:

- Visina hodnika  $a$  iznosi 1,93 (m)
- Širina hodnika  $b$  iznosi 1,73 (m)
- Površina poprečnog presjeka  $A$  iznosi 3,33 (m<sup>2</sup>)

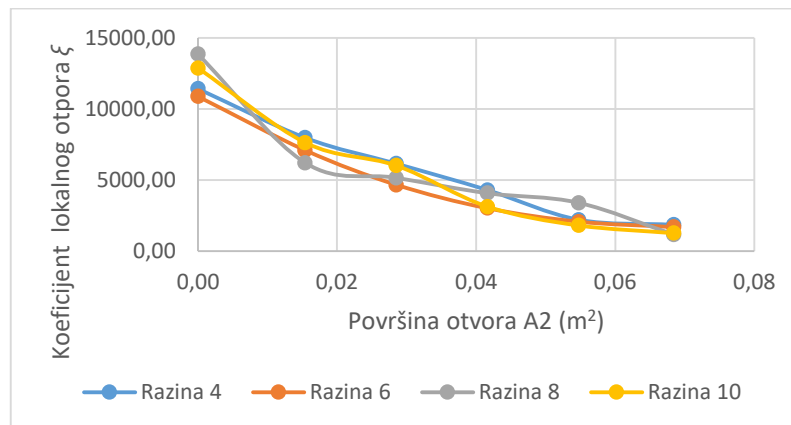
## 6. PRIKAZ REZULTATA

Rezultati dobiveni izračunom pri pet različitim postavki ventilatora na šest različitih postavki regulacijskog otvora prikazani su u sljedećim tablicama.

**Tablica 6-1.** Tablica s izračunatim vrijednostima.

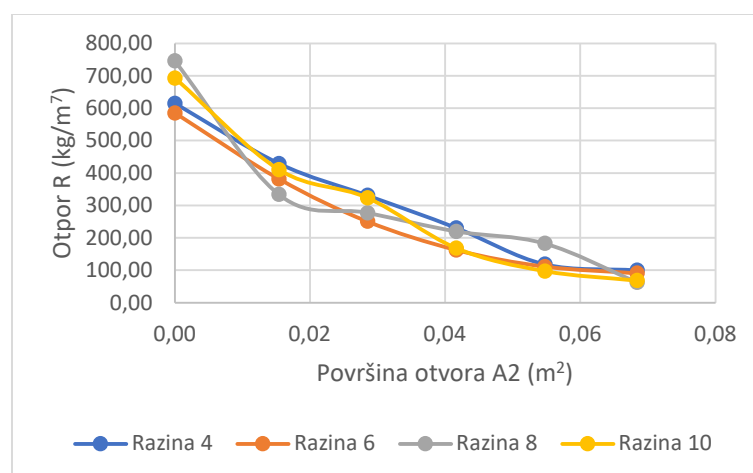
Položaj regulatora ventilatora	Površina otvora $A_2$ (m <sup>2</sup> )	Otpor $R$ (kg/m <sup>7</sup> )	Koeficijent lokalnog otpora $\xi$	Brzina na otvoru $v$ (m/s)	Brzina u hodniku $v$ (m/s)
Razina 4	0.07	100.16	1860.946	11.70	0.24
	0.05	118.91	2209.344	14.07	0.23
	0.04	231.19	4295.538	13.46	0.17
	0.03	331.16	6153.152	16.84	0.14
	0.02	429.42	7978.83	27.94	0.13
	0.00	615.04	11427.84	0.00	0.11
Razina 6	0.07	91.41	1698.488	19.44	0.40
	0.05	111.42	2070.306	22.84	0.37
	0.04	163.05	3029.489	25.47	0.32
	0.03	251.03	4664.302	30.88	0.26
	0.02	381.87	7095.362	47.43	0.22
	0.00	585.59	10880.61	0.00	0.18
Razina 8	0.07	63.28	1175.78	32.02	0.66
	0.05	183.22	3404.329	24.31	0.40
	0.04	220.22	4091.857	30.04	0.37
	0.03	277.62	5158.369	40.00	0.34
	0.02	334.27	6210.786	69.53	0.32
	0.00	745.79	13857.29	0.00	0.22
Razina 10	0.07	68.73	1276.979	37.13	0.76
	0.05	97.85	1818.06	40.39	0.66
	0.04	168.60	3132.641	41.58	0.52
	0.03	324.04	6020.722	44.91	0.38
	0.02	410.77	7632.239	76.02	0.35
	0.00	693.25	12881.06	0.00	0.28

Pri postavkama ventilatora na razini 2 vrijednosti su bile ispod mjernog područja anemometra te vrijednosti nisu mogle biti zabilježene, a samim time podaci su nedostadni za izračun. Na svim sljedećim mjerenjima vrijednosti su u mjernom području uređaja te su korištene u navedenim proračunima. Površina otvora A2 označava površinu zasuna, te na mjestima u tablici gdje njena vrijednost iznosi nula zasun je bio u potpuno zatvorenom položaju. Brzina strujanja zraka u hodniku je zabilježena i pri potpuno zatvorenom zasunu zbog nesavršenog brtvljenja spojeva vjetrenih vrata. Sljedeći grafički prikaz (Slika 6-1) prikazuje odnos koeficijenta lokalnog otpora i površine otvora zasuna. Vidljivo je da zatvaranjem zasuna raste koeficijent lokalnog otpora podjednako pri svim razinama rada ventilatora.



**Slika 6-1.** Grafički prikaz odnosa koeficijenta lokalnog otpora  $\xi$  i površine otvora A2

Grafički prikaz (Slika 6-2) opisuje odnos otpora i površine otvora zasuna gdje je vidljiv porasta otpora smanjenjem površine zasuna kod svih razina rada ventilatora.



**Slika 6-2.** Grafički prikaz odnosa otpora R i površine otvora A2

## 7. ZAKLJUČAK

Ispitivanje otpora na regulacijskom otvoru vjetrenih vrata izvedeno je u rudniku Tehničkog muzeja. Mjerenje je izvedeno pri različitim pozicijama regulacijskog otvora pri različitim brzinama ventilatora. Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je da smanjenjem površine otvora i povećanjem brzine ventilatora otpor na regulacijskom otvoru povećava se zajedno s brzinom strujanja zraka na zasunu dok se brzina strujanja zraka u hodniku smanjuje. Najveća brzina strujanja zraka na zasunu iznosi 76,02 m/s na razini 10 pri površini od 0,02 m<sup>2</sup>. Pri najvećoj površini otvora u iznosu od 0,07 m<sup>2</sup> koeficijent lokalnog otpora je pri svakoj brzini rotacije ventilatora najmanji, a pri najmanjoj površini tj. kada je zasun potpuno zatvoren, koeficijent lokalnog otpora je najveći. Otpor na zasunu ima najmanju vrijednost pri površini od 0,07 m<sup>2</sup> pri razini 8, te iznosi 63,28 kg/m<sup>7</sup> dok je najveća vrijednost pri zatvorenom zasunu kod razine 8, te iznosi 745,79 kg/m<sup>7</sup>. Može se zaključiti da regulacijski element u potpunosti ispunjava svoju zadaću smanjenja protoka zraka i smanjenja brzine vjetrove struje u hodniku i pri najvećoj brzini ventilatora.

## 8. LITERATURA

Andreić, Ž. 2014. Temelji mehanike fluida. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

HANGZHOU CANDID I/E Co., Ltd, 2021. Zračna komora. URL:

<https://cncandid.en.made-in-china.com/productimage/LAtRTDqHBGIE-2f1j00UarqTQtEKfVh/China-Mine-Door-Underground-Air-Lock-System-with-Good-Production-Line.html> (19.07.2023.)

Klanfar, M. 2018. Linijski i lokalni otpori strujanju zraka. URL:

[https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7862488/mod\\_resource/content/0/Otpori%20strujanju.pdf](https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7862488/mod_resource/content/0/Otpori%20strujanju.pdf)  
(19.07.2023.)

Klanfar, M. 2018. Sustavi vjetrenja rudnika. URL:

[https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7862486/mod\\_resource/content/0/Sustavi%20vjetrenja.pdf](https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7862486/mod_resource/content/0/Sustavi%20vjetrenja.pdf)  
(19.07.2023.)

McPherson, M.J. 1993. Subsurface ventilation and environmental engineering. Springer My Copy UK

Teply, E. 1990. Rudnička ventilacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet